

**MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA UTILIZANDO LAS ECUACIONES DE NAVIER STOCK EN
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA UTILIZANDO LAS ECUACIONES DE NAVIER STOCK EN
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**AUTOR:
CRISTIAN EDUARDO TOAPANTA SANGUCHO**

**DIRECTOR:
CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI**

Quito, febrero 2020

Cristian Eduardo Toapanta Sangucho

MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO LAS ECUACIONES DE NAVIER STOCK EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2020
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Cristian Eduardo Toapanta Sangucho (Y'1991-M'03). Realizó sus estudios secundarios en “Academia Militar del Valle”, se graduó en Ciencias (General). Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la minimización de pérdidas en la producción de energía eléctrica utilizando las ecuaciones de Navier Stock en sistemas fotovoltaicos. ctoapantas@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Cristian Cristóbal Cuji Cuji (Y'1986-SM'03). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2014 y Master en Energía, Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid – España en 2015. Actualmente es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana - Quito Ecuador. ccuji@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

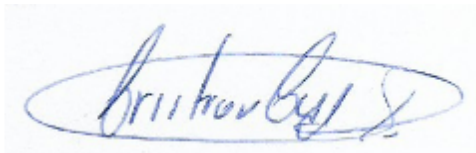
Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2020 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo Cristian Cristóbal Cuji Cuji declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Minimización de pérdidas en la producción de energía eléctrica utilizando las ecuaciones de Navier Stock en sistemas fotovoltaicos* realizado por Cristian Eduardo Toapanta Sangucho obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero 2020

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a light blue oval border. The signature appears to read 'Cristian Cuji'.

.....
Cristian Cristóbal Cuji Cuji

Cédula de identidad: 171800222-1

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Cristian Eduardo Toapanta Sangucho, con documento de identificación N° 172567353-5, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO LAS ECUACIONES DE NAVIER STOCK EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....

Nombre: Cristian Eduardo Toapanta Sangucho

Cédula: 172567353-5

Fecha: Quito, febrero 2020

INDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Pérdidas de producción de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos	3
2.1	Estado del arte	3
2.1.1	Efectos térmicos	3
2.1.2	Análisis eléctrico del sistema	4
2.1.3	Curva característica corriente-voltaje.	4
2.1.4	Corriente de cortocircuito	4
2.1.5	Voltaje de circuito abierto.	5
2.1.6	Potencia en paneles fotovoltaicos.	5
2.1.7	Factor de llenado	5
2.2	Metodología para la minimización de perdidas por efectos térmicos.	6
2.2.1	Modelo térmico y análisis del sistema mediante CFD.....	6
2.2.2	Modelo eléctrico del sistema.....	8
2.2.3	Optimización de potencia fotovoltaica.....	10
3	Análisis de resultados.....	10
3.1	Resultados de simulación CFD	11
3.1.1	Escenario 1: matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.....	11
3.1.2	Escenario 2: matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.	11
3.1.3	Escenario 3: matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.	12
3.2	Análisis térmico.	12
3.2.1	Escenario 1 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.....	12
3.2.2	Escenario 2 matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.	13
3.2.3	Escenario 3 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.	14
3.3	Análisis eléctrico.....	15
3.3.1	Escenario 1 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.....	15
3.3.2	Escenario 2 matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.	16
3.3.3	Escenario 3 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.	17
3.3.4	Comparación de resultados	18
4	Conclusiones	19
5	Trabajos futuros	20
6	Referencias	21
6.1	Matriz de estado del arte.	24
6.2	Resumen de indicadores.....	27

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Especificaciones técnicas MSX60.	10
Tabla 2 : Resumen de escenarios propuestos.	12
Tabla 3 : Temperatura Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.	13
Tabla 4 : Temperatura Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.	14
Tabla 5 : Temperatura Matriz fotovoltaica de 16 paneles en forma de V.	14
Tabla 6 : Resultados escenario 1, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.	15
Tabla 7 : Eficiencia por cada fila del escenario 1, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.	16
Tabla 8 : Potencia total, escenario 1, matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.	16
Tabla 9 : Resultados escenario 2, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.	16
Tabla 10 : Eficiencia por cada fila del escenario 2, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.	17
Tabla 11 : Potencia total, escenario 2, matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.	17
Tabla 12 : Resultados escenario 3, Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.	17
Tabla 13 : Eficiencia escenario 3, Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.	18
Tabla 14 : Potencia total, escenario 3, matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.	18
Tabla 15 : Comparación, escenario 1, escenario 2 y escenario 3.	18
Tabla 16 : Matriz de estado del arte.	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de temperatura de paneles fotovoltaicos.....	2
Figura 2. Efecto de la luz sobre la unión P.	4
Figura 3. Corriente máxima de corto circuito.	5
Figura 4. Voltaje máximo de circuito abierto.	5
Figura 5. Punto de máxima potencia de celda solar.....	6
Figura 6. Modelo de complejidad moderada de panel fotovoltaico.....	8
Figura 7. Dimensiones de panel fotovoltaico.....	10
Figura 8. Simulación CFD Autodesk dirección del viento posición lateral(escenario1).	11
Figura 9. Matriz fotovoltaica de 16 paneles, con separación limitada (escenario 1).	11
Figura 10. Simulación CFD Autodesk dirección del viento posición lateral (escenario 2).	11
Figura 11. Matriz fotovoltaica de 16 paneles, con separación significativa (escenario 2).	11
Figura 12. Simulación CFD Autodesk dirección del viento en posición lateral (escenario 3).	12
Figura 13. Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.	12
Figura 14. Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada, con enfriamiento por convección natural. (escenario 1).	13
Figura 15. Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa, con enfriamiento por convección natural. (escenario 2).	13
Figura 16. Matriz fotovoltaica de 16 paneles en forma de V, con enfriamiento por convección natural. (escenario 3).	14
Figura 17. Curva I-V escenario 1, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.	15
Figura 18. Curva I-V escenario 2, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.	16
Figura 19. Curva I-V escenario 3, Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.	17
Figura 20. Comparación de potencia y eficiencia entre escenario1-escenario2- escenario3.	19
Figura 21. Temática de estado del arte.	27
Figura 22. Formulación del problema de estado del arte.	27
Figura 23. Solución propuesta de estado del arte.	28

MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO LAS ECUACIONES DE NAVIER STOCK EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Resumen

A continuación, se presenta los resultados de optimización de producción de energía eléctrica en base a la minimización de perdidas asociado al análisis térmico de paneles fotovoltaicos. Se utilizó las ecuaciones de Navier Stokes para describir ecuaciones que gobiernen el componente térmico de paneles fotovoltaicos, una vez obtenido el modelo, el sistema será resuelto mediante el software computación Autodesk CFD (dinámica de fluidos computacionales). Los resultados de temperatura obtenidos de todo el arreglo fotovoltaico son empleados en el cálculo de corrientes y voltajes de máxima potencia, con el fin de obtener la producción total de potencia eléctrica del sistema y de cada panel fotovoltaico. Se establece 3 escenarios para comprobar la existencia del enfriamiento optimo y determinar los parámetros de relevancia cuando se posee una refrigeración por convección natural en un sistema fotovoltaico. El análisis posterior tiene como eje central la eficiencia eléctrica de los paneles fotovoltaicos en base a la potencia obtenida e inducida, mismas que se asocian a la distribución de paneles sobre una matriz fotovoltaica.

Palabras Clave: Minimización de perdidas por efectos térmicos, Navier Stokes, Paneles fotovoltaicos, voltaje de máxima potencia, corriente de máxima potencia, análisis de dinámica de fluidos

Abstract

Below, the results of optimization of electric power production are presented based on the minimization of losses associated with thermal analysis of photovoltaic panels. The Navier Stokes equations were used to describe equations that govern the thermal component of photovoltaic panels, once the model is obtained, the system will be solved using Autodesk CFD (computer fluid dynamics) computing software. The temperature results obtained from the entire photovoltaic array are used in the calculation of maximum power currents and voltages, in order to obtain the total electrical power production of the system and of each photovoltaic panel.

3 scenarios are established to verify the existence of optimal cooling and determine the relevant parameters when natural convection cooling is possessed in a photovoltaic system. The subsequent analysis has as its central axis the electrical efficiency of the photovoltaic panels based on the power obtained and induced, which are associated with the distribution of panels on a photovoltaic matrix.

Keywords: Minimization of losses due to thermal effects, Navier Stokes, photovoltaic panels, maximum power voltage, maximum power current, fluid dynamics analysis

1 Introducción

La transformación de potencia solar en energía eléctrica incluye varios parámetros de relevancia como irradiancia, eficiencia, velocidad del viento y temperatura, este último parámetro es importante puesto que un enfriamiento optimo implica la producción máxima de potencia eléctrica[1]. El empeño por optimizar el perfil de temperatura de paneles fotovoltaicos desempeña un papel clave, puesto que una menor temperatura de operación implica un aumento importante en la eficiencia. [2] Existen varias soluciones, la primera se basa en integrar material de cambio de fase para el intercambio de calor y por consecuencia la ventilación del panel. La segunda solución es modelar al conjunto de paneles en 2 y 3 dimensiones, empleando el método de volúmenes finitos. La tercera solución es el cambio de material de construcción del panel fotovoltaico. [3] [4] [5].

La disipación de calor involucra mecanismos de transferencia de calor complejos como la conducción,

convección y radiación, el estudio de estos fenómenos no pueden llevarse a cabo mediante métodos convencionales, por lo que es necesario técnicas avanzadas para su análisis, como las simulaciones numéricas de alto nivel denominadas CFD [6].

En base a las técnicas descritas las matrices fotovoltaicas requieren un modelo térmico que gobierne su comportamiento, como es el caso de las ecuaciones de Navier Stokes [7]. El análisis térmico consiste en la obtención de resultados de temperatura que proporcione un software computacional, mismos que sirven de parámetros para la obtención de corrientes y voltajes de máxima potencia mediante el modelo eléctrico de paneles fotovoltaicos, que permiten hallar la relación entre el espaciamiento de paneles fotovoltaicos y la temperatura de los mismos, considerando la ventilación por convección natural, puesto que son parámetros que afectan de forma directa a la eficiencia eléctrica del arreglo fotovoltaico [8].

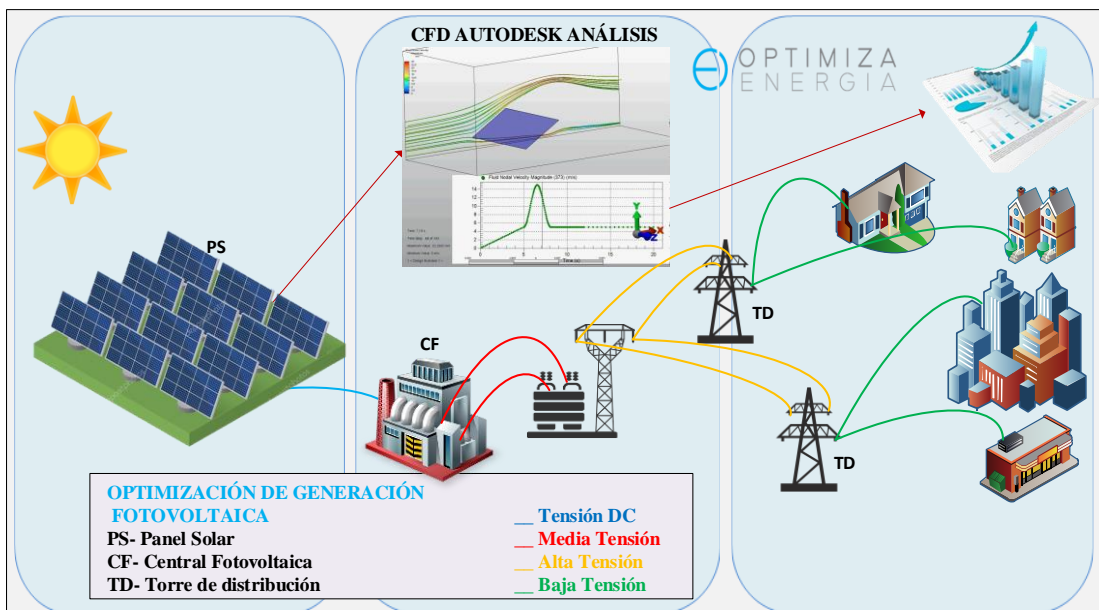


Figura 1. Análisis de temperatura de paneles fotovoltaicos.

Los resultados del estudio en curso revelan que la eficiencia de los arreglos con mayor espaciamiento entre filas y columnas de paneles fotovoltaicos son superiores en cuanto a minimización de pérdidas térmicas y eficiencia, sin embargo, también depende de la distribución del arreglo matricial de paneles fotovoltaicos.

En adelante la investigación en curso se organiza de la siguiente manera.

En la sección II se presenta la revisión del estado del arte y la metodología para la minimización de pérdidas en paneles fotovoltaicos por efectos térmicos. En la sección III se describe los resultados obtenidos de la investigación. En la sección IV se establece las conclusiones y en la sección V se presenta la propuesta para futuros trabajos.

2 Pérdidas de producción de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos

2.1 Estado del arte

A continuación, se realiza una revisión de los estudios más relevantes y similares a la investigación en curso.

En [9] se presenta un estudio acerca del enfriamiento de paneles fotovoltaicos empleando agua para tal efecto, misma que posteriormente se emplea para actividades domésticas en lugar del uso de calefones o calentadores convencionales. El análisis térmico y eléctrico lo realiza con mediciones obtenidas del circuito en campo, posteriormente comprueba los resultados obtenidos con las ecuaciones de voltaje de circuito abierto, corriente de cortocircuito, potencia y eficiencia, demostrando que el uso de agua como medio de enfriamiento y su posterior uso en tareas domésticas es efectivo puesto que la potencia del panel fotovoltaico se mantiene en niveles nominales aun cuando la irradiancia es

elevada.

En [10] se presenta un estudio experimental sobre un sistema fotovoltaico con espejos de seguimiento solar son la finalidad de aprovechar la radiación directa y difusa. El estudio se centra en el análisis térmico puesto los espejos solares aumentan la potencia eléctrica obtenida del fotovoltaico, pero podría ocasionar un aumento significativo de la temperatura. En base a medidas recopiladas en un periodo de tiempo se comprueba que la temperatura del panel fotovoltaico aumenta a razón de 5°C ante el uso de espejos de seguimiento solar, así como la potencia obtenida también aumenta, sin embargo, este hecho revela que la temperatura del panel fotovoltaico alcanza el límite máximo establecido por el fabricante lo que implica la necesidad de enfriamiento forzado.

En [11] se presenta una investigación experimental para evaluar el efecto térmico y el efecto eléctrico de un panel fotovoltaico sometido a enfriamiento de paredes de nanotubos de carbono juntamente con nano fluidos preparados con un homogeneizador ultrasónico para incrementar la tasa de transferencia de calor. En base a la obtención de mediciones de campo en un periodo determinado se demuestra que el uso de nanotubos con nano fluidos contribuye al aumento del rendimiento eléctrico en un 20% y la tasa de transferencia térmica en un 130%.

En las siguientes subsecciones se presenta los aspectos técnicos esenciales para el análisis de pérdidas térmicas en paneles fotovoltaicos.

2.1.1 Efectos térmicos

En el proceso de conversión de energía solar en eléctrica, es posible gracias al efecto fotoeléctrico, mismo que está presente en los paneles fotovoltaicos [12]. En el proceso de conversión de

energía intervienen varios parámetros técnicos como la constante de Boltzman, la carga del electrón, las constantes de idealidad de los diodos y la temperatura, el ultimo parámetro es importante, pues se describe por el ambiente en donde se coloca el panel fotovoltaico, así como la composición del material de construcción del panel [13].

Existe una relación inversa entre la temperatura y el voltaje de máxima potencia como se lo indico en la ecuación 13, lo que implica que a mayor temperatura se obtiene un voltaje menor y por consecuencia menor potencia en el panel fotovoltaico [14], es por lo que se plantea un análisis del efecto térmico que ocurre en el panel mediante las ecuaciones de Navier Stokes, para posteriormente vincularlo con la producción de energía eléctrica.

2.1.2 Análisis eléctrico del sistema

Para el análisis eléctrico del sistema es necesario conocer los siguientes conceptos [9][10]:

- La corriente de corto circuito.
- El voltaje de circuito abierto.
- El factor de llenado.
- La eficiencia del panel fotovoltaico.

2.1.3 Curva característica corriente-voltaje.

La corriente de corto circuito es descrita mediante la ecuación (1).

$$I_{SC} = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] - I_L \quad (1)$$

En donde:

I_0 es la corriente de saturación oscura del diodo (1e-10 A).

I_L es la corriente generada por la luz (0.5 A).

n es el factor de la idealidad con un valor de 1.

T es la temperatura, obtenido de la

simulación de Autodesk CFD (°K).

V es el voltaje de circuito abierto (V).

A continuación, se presenta el diagrama del circuito que describe la ecuación (9).

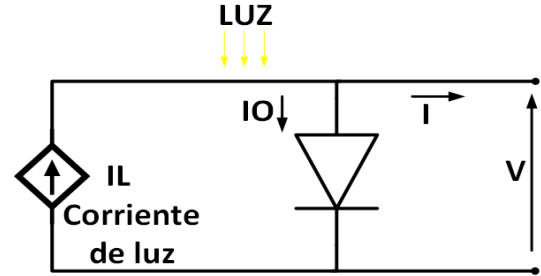


Figura 2. Efecto de la luz sobre la unión P.

La ecuación que describe la curva I-V. en el primer cuadrante es:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

El termino -1 es posible omitirlo, porque por lo general el exponencial es mayor a 1, excepto para tensiones menores a 100mV. Cuando existe bajas tensiones la corriente predominante es la corriente generada por la luz I_L , por lo que la ecuación quedaría reducida [15].

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) \right] \quad (3)$$

2.1.4 Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito (I_{SC}) es el máximo valor que se puede extraer de la celda solar como se observa en la Figura 3 [16].

La I_{SC} depende de algunos factores:

- El área del panel fotovoltaico.
- El número de fotones.
- El espectro de luz incidente.
- Las propiedades ópticas de absorción y reflexión.
- La probabilidad de recolección.

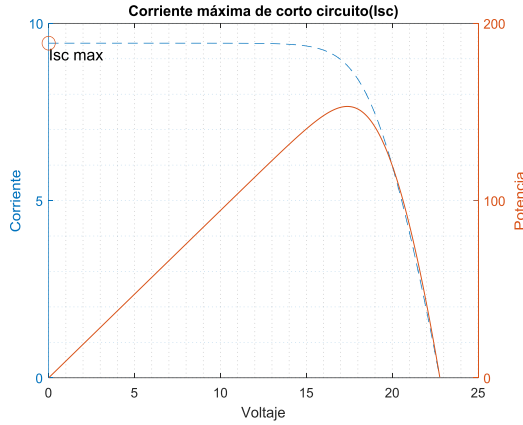


Figura 3. Corriente máxima de corto circuito.

2.1.5 Voltaje de circuito abierto.

El voltaje de circuito abierto (V_{OC}) es el máximo valor que se presenta en la celda solar, cuando la corriente de cortocircuito es 0 [17] [18].

En la Figura 4 se presenta el punto de máximo voltaje.

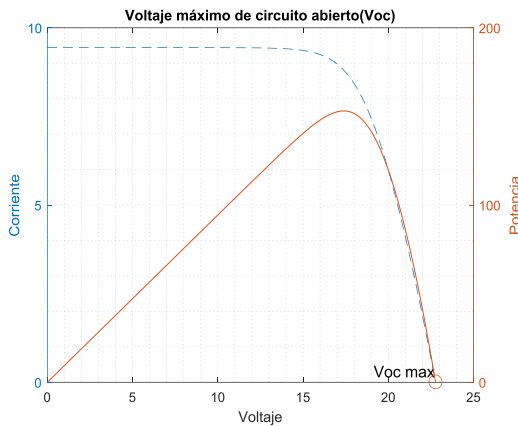


Figura 4. Voltaje máximo de circuito abierto.

Si la corriente de cortocircuito es igual a 0 el V_{OC} se describe mediante la ecuación (4).

$$V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (4)$$

En donde:

I_0 es la corriente de saturación oscura del diodo ($1e-10$ A).

I_L es la corriente generada por la luz (0.5 A).

n es el factor de idealidad con un valor de 1.

T es la temperatura, obtenido de la

simulación de Autodesk CFD ($^{\circ}K$).

V_{OC} es el voltaje de circuito abierto (V).

El voltaje de circuito abierto se puede expresar en función de la concentración de portadores como se describe en la ecuación (5) [19][20].

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{(N_A + \Delta_n)\Delta_n}{n_i^2} \right) \quad (5)$$

En donde:

N_A es la concentración de dopaje ($1.5e16 \text{ cm}^{-3}$)

Δ_n son el exceso de concentración de portadores ($1e15 \text{ cm}^{-3}$).

T es la temperatura, obtenido de la simulación de CFD autodesk ($^{\circ}K$).

n_i es la concentración intrínseca de portadores ($8.6e9 \text{ cm}^{-3}$).

2.1.6 Potencia en paneles fotovoltaicos.

La potencia del panel fotovoltaico se obtiene mediante el producto de la corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto como se describe en la siguiente ecuación [21].

$$P_{out} = I_{MAX} * V_{MAX} \quad (6)$$

En donde:

P_{out} es la potencia de salida del panel fotovoltaico(W).

I_{MAX} es la corriente a la máxima potencia del panel fotovoltaico(A).

V_{MAX} es el voltaje a la máxima potencia del panel fotovoltaico(V).

2.1.7 Factor de llenado

El factor de llenado (FF) es un parámetro que indica la máxima potencia extraíble en la celda solar. El producto de la máxima corriente y de la máxima tensión debería ser la máxima potencia, sin embargo, el resultado es 0. Por lo que el factor de llenado se define como la relación de potencia máxima entre V_{OC} y I_{SC} [22][23]. En la figura 5 se presenta la descripción grafica del FF.

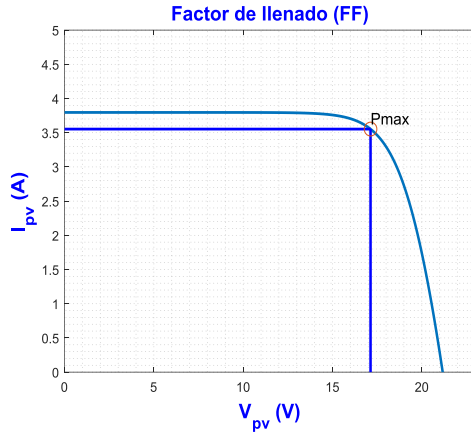


Figura 5. Punto de máxima potencia de celda solar.

Puesto que el factor de llenado es una medida de cuadratura de la curva I-V, una celda solar con una tensión mayor, tendrá un factor de llenado superior, debido a que la curva I-V ocupa menos espacio [24]. El valor máximo del factor de llenado se describe con la derivada parcial de la potencia de la celda solar con respecto al voltaje igual a 0 como se presenta en la ecuación (7).

$$\frac{d(IV)}{dV} = 0 \quad (7)$$

Dando como resultado:

$$V_{MP} = V_{OC} - \frac{nkT}{q} * \ln\left(\frac{V_{mp}}{nkT/q} + 1\right) \quad (8)$$

La ecuación (8) relaciona el voltaje de circuito abierto y el voltaje de máxima potencia. Sin embargo, para que exista una relación entre la corriente de máxima potencia y el factor de llenado se emplea la ecuación (9).

$$FF = \frac{V_{OC} - \ln(V_{OC} + 0.72)}{V_{OC} + 1} \quad (9)$$

En donde:

$$V_{OC} = \frac{q}{nkT} V_{OC} \quad (10)$$

V_{OC} es el voltaje de circuito abierto normalizado(V).

T es la temperatura(°K).

n es el factor de idealidad.

FF es el factor de llenado.

V_{OC} es el voltaje de circuito abierto(V).

La limitación de la ecuación (9) representa el factor de llenado máximo posible. Sin embargo, el factor de llenado será menor debido a los efectos de las resistencias parásitas, por lo que el factor de llenado se reescribe de la siguiente forma:

$$FF = \frac{V_{MP} * I_{MP}}{V_{OC} * I_{SC}} \quad (11)$$

En donde:

V_{MP} es el voltaje a la máxima potencia(V).

I_{MP} es la corriente a la máxima potencia(A).

I_{SC} es la corriente de corto circuito(A).

V_{OC} es el voltaje de circuito abierto(V).

FF es el factor de llenado.

2.2 Metodología para la minimización de perdidas por efectos térmicos.

La metodología para la minimización de pérdidas de energía fotovoltaica por efectos térmicos se divide en dos partes esenciales correspondientes a el modelo térmico y modelo eléctrico del sistema que serán descritas en las siguientes subsecciones.

2.2.1 Modelo térmico y análisis del sistema mediante CFD.

Para modelar la parte térmica se hace uso de la ecuación de energía de Navier Stokes en coordenadas cartesianas [25].

$$pc\left(\frac{dT}{dt} + v_x \frac{dT}{dx} + \right) \quad (12)$$

$$v_y \frac{dT}{dy} + v_z \frac{dT}{dz}) \\ = \phi_v + k \left[\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} \right. \\ \left. + \frac{d^2 T}{dz^2} \right] + Q_c + Q_r$$

$$\phi_v = u * \left[2 \left(\frac{dv_x}{dx} \right)^2 \right. \\ \left. + 2 \left(\frac{dv_y}{dy} \right)^2 + 2 \left(\frac{dv_z}{dz} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{dv_x}{dy} + \frac{dv_y}{dx} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{dv_x}{dz} + \frac{dv_z}{dx} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{dv_y}{dz} + \frac{dv_z}{dy} \right)^2 \right] \quad (13)$$

Q_c y Q_r son los coeficientes para el intercambio de calor.

Realizando el análisis del cambio de temperatura en el panel solar, se obtiene que la temperatura cambia a lo largo del eje z y existirá interferencia de calor [26] [27], por lo tanto, la ecuación de energía se reescribe de la siguiente forma:

$$\phi_v + k \left[\frac{d^2 T}{dz^2} \right] + Q_c + Q_r \quad (14)$$

En donde:

$$\phi_v = u \left[2 \left(\frac{dv_z}{dz} \right)^2 \right] \quad (15)$$

Si se considera el caudal del fluido se tiene:

$$Q = \int \vec{v} * \vec{n} \, ds \\ \frac{Q}{y} = \int \vec{v} * \vec{n} \, dz \quad (16)$$

El resultado de la integral es:

$$Q = v * n \quad (17)$$

$$\frac{uh}{2}$$

En donde:

u es la velocidad en el eje z

h es la distancia entre la placa y la envoltura.

Para hallar la distribución de temperaturas basta con resolver la ecuación diferencial descrita en la ecuación resultante de la unión de la ecuación (14) y (15).

$$0 = N \frac{v^2}{k^2} + K \left[\frac{d^2 T}{dz^2} \right] \quad (18)$$

El resultado de la resolución de la ecuación diferencial será:

$$T = T_L + (TU - Te) \frac{z}{h} \\ + \frac{NU^2}{ZK} \left[\frac{Z}{h} - \frac{z^2}{h^2} \right] \quad (19)$$

La ecuación (19) es de utilidad para determinar la distribución de temperatura en el panel fotovoltaico [28][29].

La modelación del sistema será resuelta mediante el software Autodesk CFD, esta es una herramienta computacional para la simulación dinámica de fluidos, mediante la cual es posible modelar cualquier tipo de sistema incluso sistemas fotovoltaicos [30].

El software hace uso de ecuaciones diferenciales parciales que rigen el flujo del fluido y la transferencia de calor, las ecuaciones que incluyen son de continuidad, de Navier Stokes y de energía. Estas ecuaciones están acopladas y no son lineales, lo que implica que no se puede obtener una solución analítica general para todo tipo de problemas. La forma en que el software brinda una solución es empleando métodos analíticos aproximados como el método de elementos finitos [31].

Finalmente, el software CFD entrega los resultados de las ecuaciones de forma gráfica, como puede ser el intercambio de calor, el vector de velocidades, el esfuerzo cortante, entre otras [32].

A continuación, se presenta el procedimiento lógico para la parametrización y simulación de una estructura en CFD Autodesk.

Procedimiento lógico para simulación en CFD Autodesk.

- Paso 1:** Importar la pieza en 3D creada en software Autodesk Inventor.
Paso 2: Crear una envoltura alrededor de la pieza de estudio.
Paso 3: Parametrizar el tipo de material de cada estructura que forma la pieza.
Paso 4: Crear las condiciones de borde.
Paso 5: Crear las condiciones iniciales.
Paso 6: Crear la malla de descomposición de la estructura a ser analizada.
Paso 7: Elegir el tipo de fluido para el estudio.
Paso 8: Activar la transferencia de calor.
Paso 9: Introducir el número de iteraciones para el estudio.
Paso 10: Ejecutar el programa.
Paso 11: Tiempo estimado en dar resultados es de 45 minutos, esto dependerá de la estructura que el programa está analizando y del número de iteraciones que ingresemos para obtener una mayor precisión en los valores de los resultados.

2.2.2 Modelo eléctrico del sistema.

El modelo eléctrico de la celda fotovoltaica consiste en una fuente de corriente en paralelo con un diodo. La corriente que proporciona la fuente de corriente es directamente proporcional a la luz incidente sobre el panel fotovoltaico. El diodo presenta características casi ideales, además determina las características corriente-voltaje de la celda. En el modelo descrito es posible aumentar la precisión, sofisticación y complejidad de forma sencilla, añadiendo los siguientes parámetros:

- La dependencia de la temperatura de la corriente de saturación I_0 del diodo.
- Dependencia de la temperatura

en la foto corriente I_L .

- Resistencia en serie R_S , lo que proporciona precisión entre el punto de máxima potencia y el voltaje de circuito abierto.
- Resistencia R_p en paralelo con el diodo.
- Parámetro de calidad de los diodos n variable.

Para la presente investigación se empleó el modelo con una complejidad moderada. El modelo incluye la dependencia de temperatura en la foto corriente I_L y en la corriente de saturación I_0 del diodo, una resistencia en serie R_S y un único diodo en derivación con el factor de calidad del diodo para lograr una curva de mejor calidad. A continuación, en la Figura 6 se presenta el modelo del panel fotovoltaico.

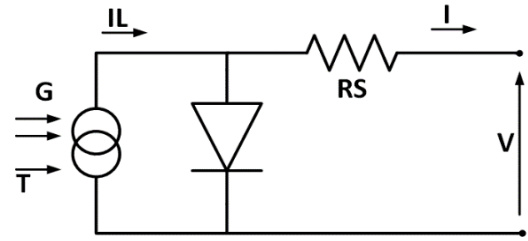


Figura 6. Modelo de complejidad moderada de panel fotovoltaico.

Las ecuaciones que describen las características de corriente- voltaje del panel fotovoltaico son:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+I R_S)}{n k T}} - 1 \right) \quad (20)$$

$$I_L = I_L(T_1) * \left(1 + K_0(T - T_1) \right) \quad (21)$$

$$I_L(T_1) = G * \frac{ISC(T_1, nom)}{G(nom)} \quad (22)$$

$$K_0 = \frac{ISC(T_2) - ISC(T_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (23)$$

$$I_0 = I_0(T_1) * \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} \quad (24)$$

$$* e^{-\frac{q*V_g}{n*k}(\frac{1}{T}-1/T_1)}$$

$$I_0(T_1) = \frac{ISC(T_1)}{e^{\frac{q*V_{oc}(T_1)}{n*k*T_1}} - 1} \quad (25)$$

$$R_s = -\frac{dV}{dI_{V_{oc}}} - \frac{1}{Xv} \quad (26)$$

$$Xv = I_0(T_1) * \frac{q}{n * k * T_1} * e^{\frac{qV_{oc}(T_1)}{nkT_1}} \quad (27)$$

En donde:

I_L es la foto corriente del diodo(A).

I_0 es la corriente de saturación del diodo(A).

R_s es la resistencia en serie al circuito(Ω).

k es la constante de Boltzman (1.36e-23).

q es la carga del electrón (1.6e-19).

V_g es la tensión de banda prohibida (1.2V).

n es el factor de calidad del diodo (36).

$V_{oc}(T_1)$ es el voltaje de circuito abierto de la celda solar a temperatura (21.06/ n)(V).

$ISC(T_1)$ es la corriente de cortocircuito a temperatura (3.80 A).

$V_{oc}(T_2)$ es el voltaje de circuito abierto de la celda solar a temperatura (17.05/ n V).

$ISC(T_2)$ es la corriente de cortocircuito a temperatura (3.92A).

G es la irradiancia del sol ($\frac{W}{m^2}$)

T_2 es la temperatura de operación del arreglo solar($^{\circ}C$).

T_1 es la temperatura de la celda en un tiempo t dado.

Las constantes pueden variar según los fabricantes de cada panel fotovoltaico, para el estudio se empleó un panel solar MSX60 60W [12].

La foto corriente I_L del diodo es directamente proporcional a la irradiancia G . Cuando la celda está en corto circuito, la corriente que fluye por

el diodo es insignificante. En la ecuación (22) la constante de proporcionalidad indica que la corriente de corto circuito nominal se da en la irradiancia nominal que usualmente es 1 sol ($1000 Wm^{-2}$), el panel solar MSX60 tiene la $I_{sc} = 3.8 A$ cuando la irradiancia es de 1 sol y la temperatura es de $25^{\circ}C$, en la ecuación (21) la relación entre la foto corriente y la temperatura es lineal, que describe el cambio de la foto corriente con respecto a la temperatura, en el panel solar MSX60 la foto corriente I_L cambia en un rango de 3.80 a 3.92, es decir un 3%, así como cambia la temperatura de $25^{\circ}C$ a $75^{\circ}C$, cuando la celda solar no está iluminada la relación entre el voltaje de circuito abierto y la corriente de corto circuito es descrita por la ecuación (25) Shockley, que calcula la corriente de saturación I_0 en base al voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito a una temperatura dada, si la celda no posee carga, I_L fluye totalmente por el diodo, por lo que la curva I-V parte desde el origen hasta llegar a la I_L generada como lo demuestra la ecuación (20), donde el factor de idealidad n toma valores entre 1 y 2, siendo 1 para altas corrientes y valores superiores a 1 hasta 2 para corrientes bajas, para el estudio se adoptó un valor de 1.2 que corresponde a un funcionamiento normal del panel fotovoltaico.

La resistencia en serie de la celda tiene gran repercusión en la pendiente de la curva I-V, específicamente en el voltaje de circuito abierto, para la celda MSX60 se obtiene una resistencia en serie de $8m\Omega$. Todas las ecuaciones que describen el sistema se engloban en el siguiente pseudocódigo.

Algoritmo para calcular parámetros técnicos (voltaje, corriente, potencia) de paneles fotovoltaicos.

Paso 1: Parametrizar datos de irradiancia y voltaje en terminales de panel fotovoltaico.

Paso 2: Importar resultados de temperatura desde Autodesk CFD.

Paso 3: Calcular la resistencia en serie del panel fotovoltaico.

$$R_s = -\frac{dV}{dI_{Voc}} - \frac{1}{Xv}$$

Paso 4: Calcular la corriente de saturación del diodo.

$$I_0(T_1) = \frac{ISC(T_1)}{e^{\frac{q*Voc(T_1)}{n*k*T_1}} - 1}$$

Paso 5: Calcular la foto corriente del diodo.

$$I_L = I_L(T_1) * (1 + K_0(T - T_1))$$

Paso 6: Calcular la corriente de corto circuito para un voltaje V.

$$I = I_L - I_0(e^{\frac{q(V+I*R_s)}{n*k*T}} - 1)$$

Tabla 1 : Especificaciones técnicas MSX60.

Temperatura	T	25	°C
Voltaje de circuito abierto	Voc	21	V
Corriente de corto circuito.	Isc	3.74	A
Voltaje de máxima potencia	V _m	17.1	V
Corriente de máxima potencia	I _m	3.5	A
Máxima potencia	P _m	59.9	W

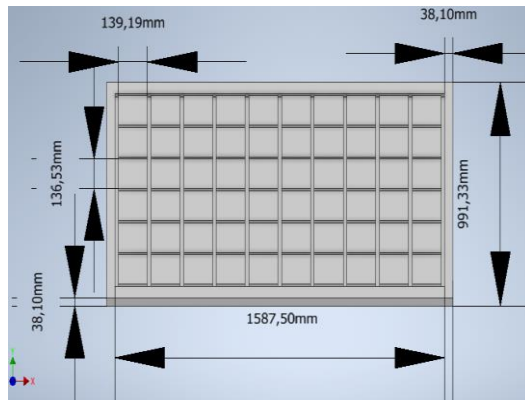


Figura 7. Dimensiones de panel fotovoltaico.

En la tabla 1 se presentan las especificaciones técnicas del panel solar MSX60.

Se evaluará el parámetro de temperatura, para ello se variará la irradiancia, mientras que la

temperatura se obtendrá de la simulación de la parte térmica resultante del software CFD Autodesk.

La modelación de la parte eléctrica será resuelta mediante el método de Newton Raphson.

2.2.3 Optimización de potencia fotovoltaica.

La expresión que describe el problema de optimización de potencia fotovoltaica, minimizando perdidas se presenta a continuación.

$$\max F(I_L, I_0, T, R_s, V, n, k, q)$$

$$\sum_{i=1}^N V_{max} * I_L - I_0 * \left(e^{\frac{q(V+I*R_s)}{n*k*T}} - 1 \right) \quad (28)$$

En donde:

$$T_{min} \leq T \leq T_{max} \quad (28)$$

La minimización de pérdidas que describe la ecuación (28) consiste en la maximización del cálculo de potencia i hasta N de una matriz fotovoltaica, considerando la limitación de temperatura entre un valor mínimo y un valor máximo, los parámetros T_{min} y T_{max} se hallan mediante la simulación dinámica de fluidos CFD.

3 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados obtenidos del estudio, se plantean tres escenarios diferentes. Cada escenario consta de un mismo número de paneles (16 paneles), características técnicas y el mismo sistema de enfriamiento natural, con la diferencia que en cada escenario los paneles se encontraran distribuidos en diferentes posiciones.

3.1 Resultados de simulación CFD

3.1.1 Escenario 1: matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.

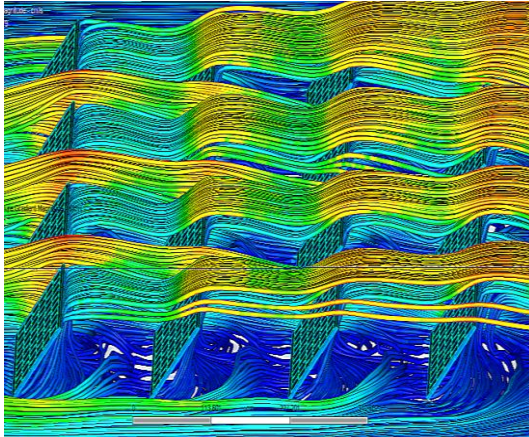


Figura 8. Simulación CFD Autodesk dirección del viento posición lateral(escenario1).

En la figura 8 se presenta el resultado de la simulación CFD del flujo del viento en una vista lateral de la matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.

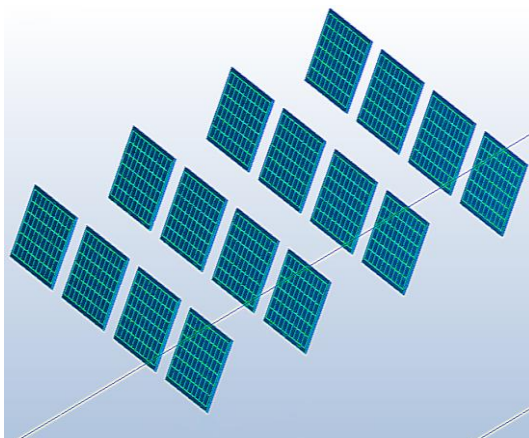


Figura 9. Matriz fotovoltaica de 16 paneles, con separación limitada (escenario 1).

En la figura 9 se presenta un arreglo de 16 paneles distribuidos por 4 filas y 4 columnas en forma matricial de separación limitada tiene un emplazamiento de 8.8 metros cuadrados, la distancia entre paneles en cada fila es de 0.5 metros y el espaciamiento entre paneles en cada columna es de 1.4 metros. Los paneles fotovoltaicos fueron colocados en un ángulo de 45 grados y en una sola

dirección. Cada panel consta de 60 celdas distribuidas en un arreglo de 6 filas y 10 columnas. El material que se empleó para la simulación fue silicón. La potencia instalada asociada al arreglo del escenario 1 es de 958.4 W.

3.1.2 Escenario 2: matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.

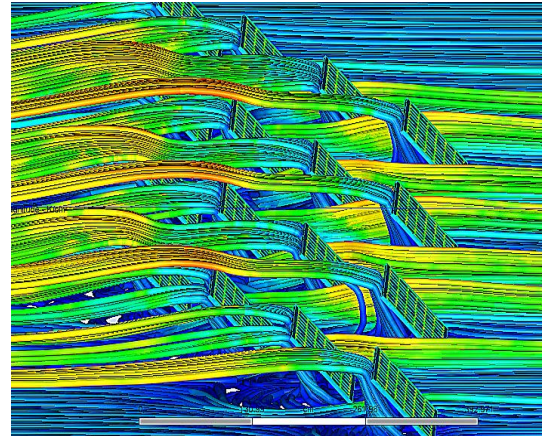


Figura 10. Simulación CFD Autodesk dirección del viento posición lateral (escenario 2).

En la figura 10 se presenta el resultado de la simulación CFD del flujo del viento en una vista lateral de la matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.

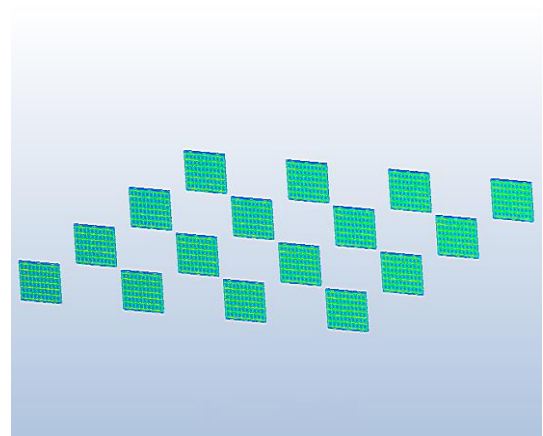


Figura 11. Matriz fotovoltaica de 16 paneles, con separación significativa (escenario 2).

En la figura 11 se presenta un arreglo de 16 paneles distribuidos por 4 filas 4 columnas en forma matricial de separación significativa tiene un emplazamiento de 8.8 metros

cuadrados, con la diferencia al primer escenario, que la distancia entre paneles en cada fila es de 2.5 metros y el espaciamiento entre paneles en cada columna es de 1.4 metros. Los paneles fotovoltaicos fueron colocados en un ángulo de 45 grados y en una sola dirección. Cada panel consta de 60 celdas distribuidas en un arreglo de 6 filas y 10 columnas. El material que se empleó para la simulación fue silicón. La potencia instalada asociada al arreglo del escenario 2 es de 958.4 W.

3.1.3 Escenario 3: matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.

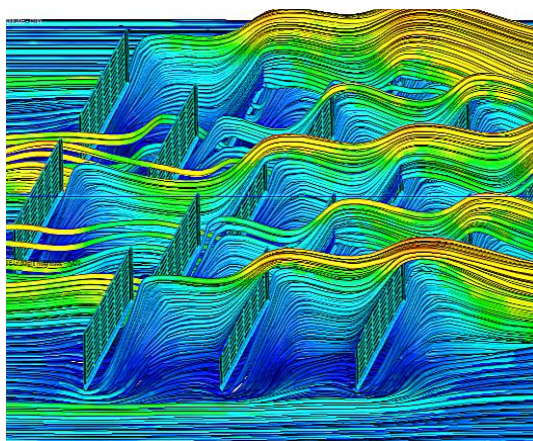


Figura 12. Simulación CFD Autodesk dirección del viento en posición lateral (escenario 3).

En la figura 12 se presenta el resultado de la simulación CFD del flujo del viento en una vista lateral de la matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.

En la figura 13 se presenta un arreglo de 16 paneles distribuidos por 5 filas y 5 columnas, en forma V con un emplazamiento de 8.8 metros cuadrados, la distancia entre paneles en cada fila es de 0,7 metros y el espaciamiento entre paneles en cada columna es de 1.47 metros. Los paneles fotovoltaicos fueron colocados en un ángulo de 45 grados y en una sola dirección. Cada panel consta de 60 celdas distribuidas en un arreglo de 6 filas y 10 columnas. El material que se

empleó para la simulación fue silicón. La potencia instalada asociada al arreglo del escenario 3 es de 958.4 W.

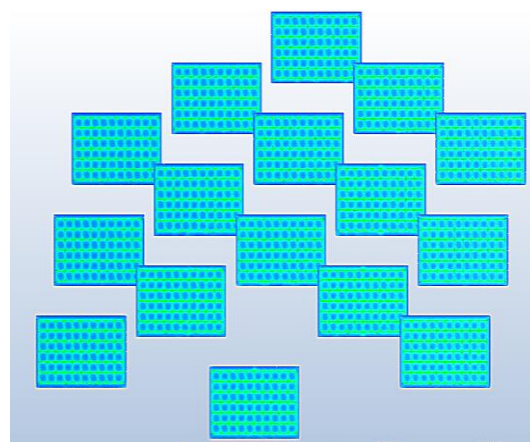


Figura 13. Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los escenarios propuestos.

Tabla 2 : Resumen de escenarios propuestos.

Escenario #	# de paneles	Distancia entre filas (m)	Distancia entre columnas (m)
1	16	0.5	1.4
2	16	2.5	1.4
3	16	0.7	1.4

3.2 Análisis térmico.

3.2.1 Escenario 1 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.

Para el primer escenario correspondiente al arreglo matricial de 16 paneles fotovoltaicos con separación limitada, se empleó una envoltura tipo túnel con una dirección del viento en el eje z positivo. El análisis se basa en la dinámica de fluidos, en donde el viento es el método de ventilación natural que genera el enfriamiento del arreglo fotovoltaico para obtener una producción de energía y eficiencia de paneles distinta. Las ecuaciones de Navier Stokes de energía son las que gobiernan el arreglo fotovoltaico.

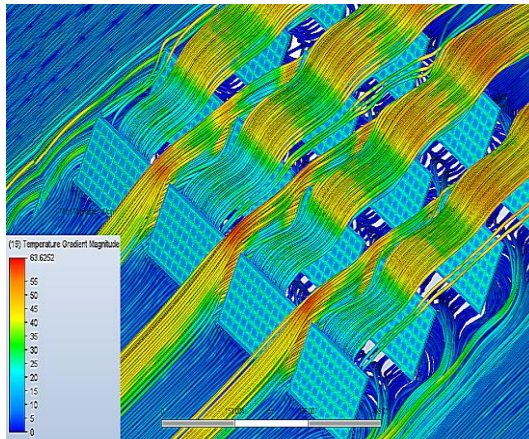


Figura 14. Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada, con enfriamiento por convección natural. (escenario 1).

En la Figura 14 es posible observar la matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada que está sometido a una velocidad del viento de 18m/s y un valor de temperatura diferente por cada fila de paneles. Los valores de temperatura se obtuvieron mediante la paleta de colores que ofrece la simulación resultante del software Autodesk CFD bajo 100 iteraciones que tardaron 30 minutos. En la Tabla 3 se presentan los resultados de temperatura obtenidos.

Tabla 3 : Temperatura Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.

# fila	Temperatura(°C)
1	25
2	25.9
3	26.5
4	27.5

La primera fila es la que se encuentra a temperatura ambiente (25°C), puesto que el viento impacta directamente en los paneles. En la segunda fila de paneles la temperatura(25.9°C) sube ligeramente puesto que parte del viento que impacto en la primera fila no avanzo hasta la segunda fila, como consecuencia se tiene un enfriamiento ligeramente menor. Los paneles de la fila 3 presentan una temperatura (26.5°C) un poco más elevada, puesto que los paneles de la fila 1 y 2 obstruyen el

paso del viento. Por último, los paneles de la fila 4 presenta una temperatura(27.5°C) un poco más elevada a comparación de las tres filas anteriores debido a que los paneles de las filas 1,2 y 3 obstruyen el paso del viento al panel.

3.2.2 Escenario 2 matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.

Para el segundo escenario correspondiente al arreglo matricial de 16 paneles fotovoltaico con separación significativa, se empleó una envoltura tipo túnel con una dirección del viento en el eje z positivo. El análisis se basa en la dinámica de fluidos, en donde el viento es el método de ventilación natural que genera el enfriamiento del arreglo fotovoltaico para obtener una producción de energía y eficiencia de paneles distinta. Las ecuaciones de Navier Stokes de energía son las que gobiernan el arreglo fotovoltaico.

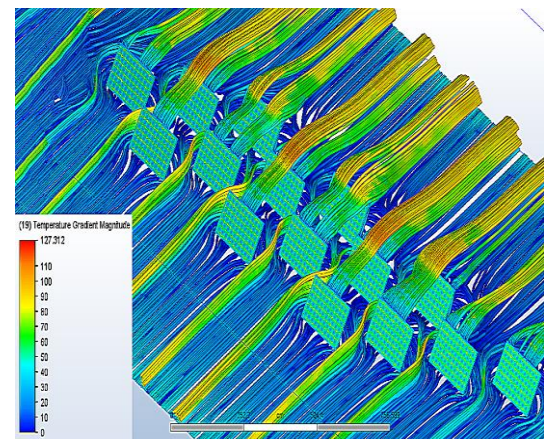


Figura 15. Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa, con enfriamiento por convección natural. (escenario 2).

En la Figura 15 es posible observar la matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa que está sometido a una velocidad del viento de 22m/s y un valor de temperatura diferente por cada fila de paneles fotovoltaicos. Los valores de temperatura se obtuvieron mediante la paleta de colores que ofrece la

simulación resultante del software Autodesk CFD bajo 100 iteraciones que tardaron 45 minutos. En la Tabla 4 se presentan los resultados de temperatura obtenidos.

Tabla 4 : Temperatura Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.

# fila	Temperatura(°C)
1	25
2	25.5
3	25.6
4	25.7

La primera fila se encuentra a menor temperatura(25°C), puesto que el viento impacta directamente en los paneles. En la segunda fila de paneles la temperatura(25.5°C) se incrementa ligeramente debido a la turbulencia del choque del viento contra la primera fila. Los paneles de la fila 3 presentan una temperatura (25.6 °C) un poco más elevada, puesto que los paneles de la fila 1 y 2 crean turbulencia y no permite que llegue el viento en su totalidad. Por último, los paneles de la fila 4 presenta una temperatura(25.7°C) un poco más elevada a comparación de las tres filas anteriores debido a que los paneles de las filas 1,2 y 3 obstruyen de forma parcial el paso del viento al panel.

3.2.3 Escenario 3 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.

Para el tercer escenario correspondiente al arreglo matricial de 16 paneles fotovoltaicos, distribuidos en una matriz de 5x5 en forma de V, se empleó una envoltura tipo túnel con una dirección del viento en el eje z positivo. El análisis se basa en la dinámica de fluidos, en donde el viento es el método de ventilación natural que genera el enfriamiento del arreglo fotovoltaico para obtener una producción de energía y eficiencia de paneles distinta. Las ecuaciones de Navier Stokes de energía son las que

gobiernan al arreglo fotovoltaico.

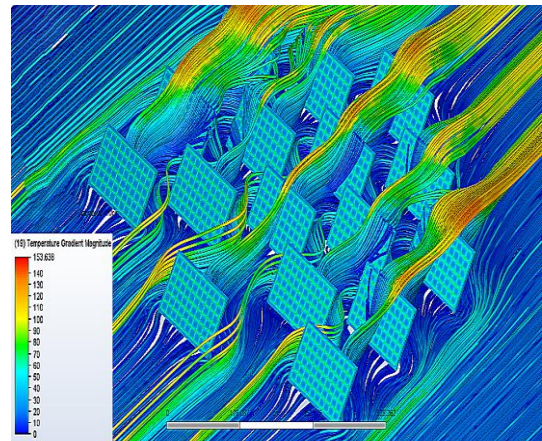


Figura 16. Matriz fotovoltaica de 16 paneles en forma de V, con enfriamiento por convección natural. (escenario 3).

En la Figura 16 es posible observar la matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V que está sometido a una velocidad del viento de 20m/s y un valor de temperatura diferente por cada fila de paneles fotovoltaicos. Los valores de temperatura se obtuvieron mediante la paleta de colores que ofrece la simulación resultante del software Autodesk CFD bajo 100 iteraciones que tardaron 35 minutos. En la Tabla 5 se presentan los resultados de temperatura obtenidos.

Tabla 5 : Temperatura Matriz fotovoltaica de 16 paneles en forma de V.

# fila	Temperatura(°C)
1	25.0
2	25.6
3	25.9
4	26.0
5	26.3

La primera fila se encuentra a menor temperatura(25°C), puesto que el viento impacta directamente en los paneles. En la segunda fila de paneles la temperatura(25.6°C) sube ligeramente debido a la turbulencia provocada por el choque del viento contra la primera fila. Los paneles de la fila 3 presentan una temperatura (25.9 °C) un poco más elevada, puesto que

los paneles de la fila 1 obstruyen el paso del viento y los paneles de la fila 2 crean turbulencia y no permite que llegue el viento en su totalidad. En la fila 4 los paneles presentan una temperatura (26°C) un poco más elevada puesto que los paneles de las filas 1 y 2 obstruyen el paso del viento. Por último, los paneles de la última fila presentan una temperatura(26.3°C) un tanto menor debido a la dirección que toma el viento después impactar con las filas anteriores.

3.3 Análisis eléctrico.

3.3.1 Escenario 1 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.

Para el análisis eléctrico del escenario 1 se hace uso de los resultados obtenidos de la modelación del sistema fotovoltaico mediante las ecuaciones de energía de Navier Stokes y posteriormente resueltas por el software CFD. Las temperaturas resultantes del análisis térmico del primer escenario se presentaron en la tabla 2, dichos valores sirven para la aplicación de la ecuación (20) correspondiente a la corriente y que tienen solución aplicando el método de Newton Raphson. A continuación, se presenta los resultados obtenidos de la producción de energía de cada fila del arreglo y de cada panel fotovoltaico. Las condiciones de operación del panel son: irradiación de 1 kW/m² y el vector de temperaturas obtenido del análisis térmico del escenario 1 y descrito anteriormente en la Tabla 3 .

En la Figura 17 se observa 4 curvas I-V, cada una corresponde a cada fila del arreglo 4x4. En la Tabla 6 se resume los resultados de la Figura 16 y se calcula la potencia producida según la ecuación (6).

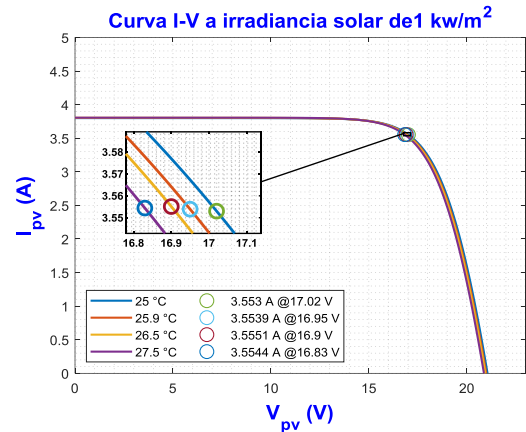


Figura 17. Curva I-V escenario 1, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.

Tabla 6 : Resultados escenario 1, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.

Fila	Temp (°C)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	25	17.02	3.55	60.47
2	25.9	16.95	3.55	60.23
3	26.5	16.9	3.55	60.08
4	27.5	16.83	3.55	59.82

Los resultados obtenidos indican que en las primeras filas de la matriz fotovoltaica de 16 paneles se obtiene una producción de energía máxima según la hoja característica del panel fotovoltaico y en las filas posteriores a la primera la producción de energía reduce ligeramente.

La eficiencia de un panel fotovoltaico se describe mediante la siguiente ecuación.

$$n = \frac{P_{obtenida}}{P_{inducida}} \quad (29)$$

$$n = \frac{\frac{I_{max} * V_{max}}{Area\ del\ panel}}{Irradiancia}$$

La ecuación (29) describe la eficiencia en base a la corriente de máxima potencia I_{max} en amperios, el voltaje de máxima potencia V_{max} en voltios, el área del panel en metros cuadrados y la irradiancia en kW/m².

Tabla 7 : Eficiencia por cada fila del escenario 1, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada.

Fila #	Área m^2	Potencia obtenida (W)	Potencia inducida (W)	Eficiencia (%)
1	0.55	60.47	60	11
2	0.55	60.23	60	11
3	0.55	60.08	60	11
4	0.55	59.82	60	10

En la Tabla 7 se puede observar que la eficiencia de las filas es del 10-11%. A continuación, se presenta el cálculo de la potencia total del arreglo.

Tabla 8 : Potencia total, escenario 1, matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución tradicional.

Fila	# panel por fila	Potencia por panel (W)	Potencia total (W)
1	4	60.47	241.88
2	4	60.23	240.92
3	4	60.08	240.32
4	4	59.82	239.28
Potencia total del arreglo			962.4 W

La potencia total del escenario 1, matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación limitada es 962.4 W con una eficiencia del 10%.

3.3.2 Escenario 2 matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.

Para el análisis eléctrico del escenario 2 se hace uso de los resultados obtenidos de la modelación del sistema fotovoltaico mediante las ecuaciones de energía de Navier Stokes y posteriormente resueltas por el software CFD. Las temperaturas resultantes del análisis térmico del segundo escenario se presentaron en la tabla 3, dichos valores sirven para la aplicación de la ecuación (20) correspondiente a la corriente y que tienen solución aplicando el método de Newton Raphson. A continuación, se presenta los resultados obtenidos de la producción de energía de cada fila del

arreglo y de cada panel fotovoltaico. Las condiciones de operación del panel son: irradiación de 1 kW/m^2 y el vector de temperaturas obtenido del análisis térmico del escenario 2 y descrito anteriormente en la Tabla 4.

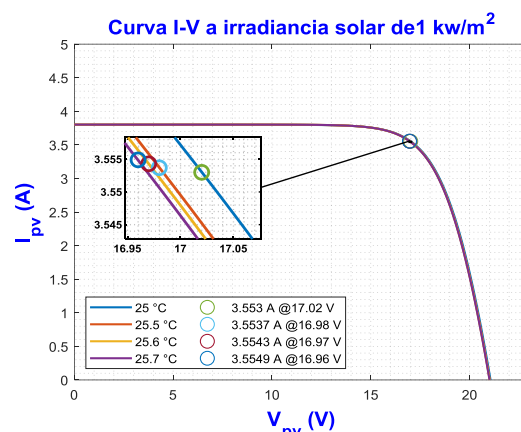


Figura 18. Curva I-V escenario 2, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.

Tabla 9 : Resultados escenario 2, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.

Fila	Temp (°C)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	25	17.02	3.55	60.47
2	25.5	16.98	3.55	60.34
3	25.6	16.97	3.55	60.31
4	25.7	16.96	3.55	60.29

En la Figura 18 se observa 4 curvas I-V, cada una corresponde a cada fila del arreglo 4x4. En la Tabla 9 se resume los resultados de la Figura 17 y se calcula la potencia producida según la ecuación (6).

Los resultados obtenidos indican que en las primeras filas de la matriz fotovoltaica de 16 paneles se obtiene una producción de energía máxima según la hoja característica del panel fotovoltaico y en las filas posteriores a la primera la producción de energía reduce ligeramente.

La eficiencia de un panel fotovoltaico se describe mediante la siguiente ecuación.

$$n = \frac{P_{obtenida}}{P_{inducida}} \quad (30)$$

$$n = \frac{I_{max} * V_{max}}{\frac{Area\ del\ panel}{Irradiancia}}$$

La ecuación (30) describe la eficiencia en base a la corriente de máxima potencia I_{max} en amperios, el voltaje de máxima potencia V_{max} en voltios, el área del panel en metros cuadrados y la irradiancia en kW/m².

Tabla 10 : Eficiencia por cada fila del escenario 2, Matriz fotovoltaica de 16 paneles de separación significativa.

Fila #	Área m ²	Potencia obtenida (W)	Potencia inducida (W)	Eficiencia (%)
1	0.55	60.47	60	11
2	0.55	60.34	60	11
3	0.55	60.31	60	11
4	0.55	60.29	60	11

En la Tabla 10 se puede observar que la eficiencia de las filas del arreglo es del 11%.

A continuación, se presenta el cálculo de la potencia total del arreglo.

Tabla 11 : Potencia total, escenario 2, matriz fotovoltaica de 16 paneles con separación significativa.

Fila	# panel por fila	Potencia por panel (W)	Potencia total (W)
1	4	60.47	241.88
2	4	60.34	241.36
3	4	60.31	241.24
4	4	60.29	241.16
Potencia total del arreglo			965.64 W

La potencia total del escenario 2, matriz fotovoltaica de 16 paneles es 965.64 W con una eficiencia del 11%.

3.3.3 Escenario 3 matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V. Para el análisis eléctrico del escenario 3 se hace uso de los resultados obtenidos de la modelación del sistema

fotovoltaico mediante las ecuaciones de energía de Navier Stokes y posteriormente resueltas por el software CFD. Las temperaturas resultantes del análisis térmico del tercer escenario se presentaron en la tabla 4, dichos valores sirven para la aplicación de la ecuación (20) correspondiente a la corriente y que tienen solución aplicando el método de Newton Raphson. A continuación, se presenta los resultados obtenidos de la producción de energía de cada fila del arreglo y de cada panel fotovoltaico. Las condiciones de operación del panel son: irradiancia de 1 kW/m² y el vector de temperaturas obtenido del análisis térmico del escenario 3 y descrito anteriormente en la Tabla 5.

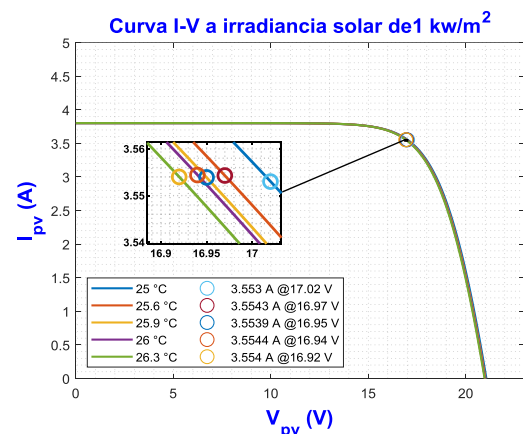


Figura 19. Curva I-V escenario 3, Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.

Tabla 12 : Resultados escenario 3, Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.

Fila	Temp (°C)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	25.0	17.02	3.55	60.47
2	25.6	16.97	3.55	60.31
3	25.9	16.95	3.55	60.23
4	26.0	16.94	3.55	60.21
5	26.3	16.92	3.55	60.13

En la Figura 19 se observa 5 curvas I-V, cada una corresponde a cada fila del arreglo de 16 paneles en V. En la Tabla 12 se resume los resultados de la

Figura 18 y se calcula la potencia producida según la ecuación (6).

Los resultados obtenidos indican que en las primeras filas del arreglo de 16 paneles en V se obtiene una producción de energía máxima según la hoja característica del panel fotovoltaico y en las filas posteriores a la primera la producción de energía reduce ligeramente.

La eficiencia de un panel fotovoltaico se describe mediante la siguiente ecuación.

$$n = \frac{P_{obtenida}}{P_{inducida}} \quad (31)$$

$$n = \frac{I_{max} * V_{max}}{\frac{Area\ del\ panel}{Irradiancia}}$$

La ecuación (31) describe la eficiencia en base a la corriente de máxima potencia I_{max} en amperios, el voltaje de máxima potencia V_{max} en voltios, el área del panel en metros cuadrados y la irradiancia en kW/m².

A continuación, se presenta la eficiencia por cada fila del arreglo de 16 paneles en V.

Tabla 13 : Eficiencia escenario 3, Matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V.

Fila #	Área m ²	Potencia obtenida (W)	Potencia inducida (W)	Eficiencia (%)
1	0.55	60.47	60	11
2	0.55	60.31	60	11
3	0.55	60.23	60	11
4	0.55	60.21	60	11
5	0.55	60.13	60	11

En la Tabla 13 se puede observar que la eficiencia de las filas del arreglo se encuentra en el 11%.

A continuación, se presenta el cálculo de la potencia total del arreglo.

Tabla 14 : Potencia total, escenario 3, matriz fotovoltaica de 16 paneles con distribución en V.

Fila	# panel por fila	Potencia por panel (W)	Potencia total (W)
1	3	60.47	181.47
2	2	60.31	120.62
3	5	60.23	301.15
4	2	60.21	120.42
5	4	60.13	240.52
Potencia total del arreglo			964.18 W

La potencia total del escenario 3, matriz fotovoltaica de 16 paneles distribuidos en forma de V es 964.18 W con una eficiencia del 10%.

3.3.4 Comparación de resultados

En esta sección se compara los resultados obtenidos del escenario 1, escenario 2 y escenario 3.

Los parámetros que se consideran para determinar el escenario poseen la mejor minimización de pérdidas son:

- La potencia total de cada escenario.
- El área de cada escenario.
- La eficiencia de cada escenario.

Tabla 15 : Comparación, escenario 1, escenario 2 y escenario 3.

Escenario	Área (m ²)	Potencia (W)	Eficiencia (%)
1	8.8	962.4	9.93
2	8.8	965.64	11.12
3	8.8	964.18	9.95

La minimización de pérdidas más significativa corresponde al escenario 2 como se observa en la Tabla 15, Figura 20, con una eficiencia del 11% y una potencia producida de 965.64 W, las condiciones para obtener la potencia fueron 8.8 m², temperatura promedio de 25°C, velocidad del viento de 22 m/s, distancia entre paneles por fila de 0,7 metros y espaciamiento entre paneles en cada columna es de 1.47 metros. Por lo tanto, se afirma que el enfriamiento del escenario 2 es óptimo y las pérdidas de temperatura que presenta el panel fueron minimizadas en gran medida.

El escenario numero 3 muestra que la minimización de perdidas es inferior al escenario 1, puesto que posee una eficiencia del 10% y una potencia generada de 964.18 W, las condiciones para obtener la potencia fueron 8.8 m^2 , temperatura promedio de 25.76°C , velocidad del viento de 20 m/s , distancia entre paneles por fila de 0,7 metros y espaciamento entre paneles en cada columna es de 1.47 metros. Por lo tanto, se afirma que el enfriamiento del escenario 3 es inferior al enfriamiento del escenario 2, como consecuencia se obtiene mayor cantidad de perdidas por la presencia de temperaturas más elevadas.

El escenario numero 1 posee el valor más deficiente puesto que presenta una eficiencia del 10% y una potencia generada de 962.4 W, las condiciones para obtener la potencia fueron 8.8 m^2 , temperatura promedio de 26.22°C , velocidad del viento de 18 m/s , distancia entre paneles por fila de 0,5 metros y espaciamento entre paneles en cada columna es de 1.4 metros. Por lo tanto, se afirma que el enfriamiento del escenario 1 es inferior al enfriamiento del escenario 2 y escenario 3, siendo el peor enfriamiento obtenido, como consecuencia existe la mayor cantidad de perdidas por temperatura.

Los resultados obtenidos demuestran que, aunque las eficiencias de los 3 escenario son similares, existe una variación de potencia que corresponde a la forma de distribuir los paneles a lo largo del emplazamiento, además la minimización de perdidas disminuye cuando la temperatura de las matrices fotovoltaicas aumenta.

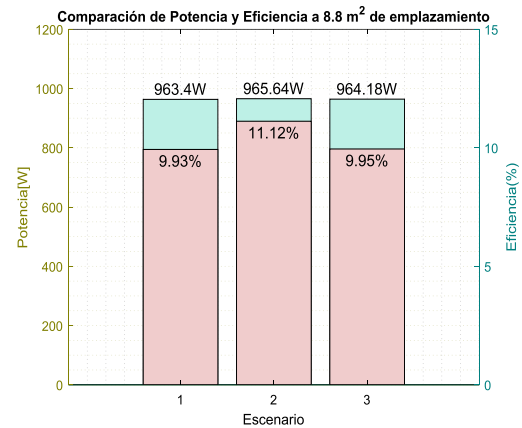


Figura 20. Comparación de potencia y eficiencia entre escenario1-escenario2-escenario3.

4 Conclusiones

- En análisis de temperatura es posible mediante las ecuaciones de Navier Stokes, específicamente las ecuaciones de energía, estas son de gran ayuda para optimizar la producción de energía eléctrica previo al trabajo de diseño.
- El segundo escenario es muy factible en tema de producción de energía eléctrica y minimización de perdidas, puesto que la matriz fotovoltaica de 16 paneles con espaciamento de 2.5m entre filas, 1.4m entre columnas, inclinación de 45° , velocidad del viento de $22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y una temperatura promedio de 25°C produce 965.64 W con una eficiencia del 11.12%, superior al escenario 1 y escenario 3, considerando que todos los escenarios poseen la misma cantidad de paneles.
- El peor escenario en tema de producción eléctrica y minimización de perdidas fue el primero, bajo un espaciamento de 2.5m entre filas, 1.4m entre columnas, una inclinación de 45° y una temperatura

promedio de 26.22°C, puesto que posee la menor potencia producida y la mayor temperatura de los tres escenarios. Esto se debe a que el espaciamiento de los paneles es considerablemente menor al del escenario 2 y escenario 3.

- La mejor minimización de pérdidas por efectos térmicos se logra cuando se distribuye la matriz fotovoltaica con un espaciamiento de filas y columnas significativo, puesto que el enfriamiento de cada panel mejora en gran medida, a la vez que aumenta el voltaje y la potencia producida es mayor como fue el caso del escenario 2.
- La ventilación por convección natural puede llegar a ser muy eficiente y contribuye de forma sustancial a la minimización de pérdidas por efectos térmicos, pero depende mucho de las distancias y del tipo de arreglo que se emplea. En arreglos convencionales es posible obtener una eficiencia alta y un enfriamiento adecuado si se varía la distancia entre paneles de cada columna como es el caso del escenario 2.
- Se comprobó que la mejor ventilación por convección natural se asocia a la minimización de pérdidas puesto que se da cuando el espaciamiento entre paneles por cada fila y columna es mayor, aunque implique una mayor área de emplazamiento como es el caso del escenario 2.
- El software Autodesk CFD es una poderosa herramienta

computacional de dinámica de fluidos que emplea las ecuaciones de Navier Stokes para describir el comportamiento térmico de sistemas eléctricos como las matrices fotovoltaicas puesto que los fluidos dinámicos ayudan a predecir el comportamiento en cualquier sistema, como se demostró en las simulaciones realizadas en el escenario 1, escenario 2 y escenario 3.

- Los tiempos de simulación entre cada escenario varían, esto se debe a la complejidad del sistema a simular, puesto que un sistema complejo y con mayor espaciamiento requiere una malla de descomposición mucho más fina. El escenario 2 (complejidad alta) con un tiempo de simulación de 45 minutos y 100 iteraciones. El escenario 3 (moderadamente complejo) con un tiempo de simulación de 35 minutos y 100 iteraciones. El escenario 1 (complejidad baja) con un tiempo de simulación de 30 minutos y 100 iteraciones.

5 Trabajos futuros

Un posible trabajo a futuro es el análisis en la parte de transformadores o cuartos de máquinas.

Un trabajo a futuro sería la minimización de pérdidas en la producción de energía eléctrica en sistemas de concentración o sistemas de alta eficiencia.

Se puede realizar un trabajo a futuro de análisis de eficiencia y producción de energía eléctrica mediante el emplazamiento de los paneles fotovoltaicos.

Un trabajo a futuro sería el análisis de costos de energía que produce el

sistema fotovoltaico.

6 Referencias

- [1] H. Akbari *et al.*, “Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems,” *Sol. Energy*, vol. 192, no. November 2017, pp. 144–168, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.03.052.
- [2] Romero Jacobo, “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró,” pp. 1–118, 2015.
- [3] A. Sellami, R. Elotmani, K. Kandoussi, M. Eljouad, A. Hajjaji, and M. Boutaous, “Temperature regulation of PV solar cell under PCM cooling system,” *Proc. 2016 Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2016*, pp. 580–584, 2016, doi: 10.1109/IRSEC.2016.7983881.
- [4] D. E. C. Aerodinámicas, “Simulación del flujo alrededor de paneles fotovoltaicos. Determinación de cargas aerodinámicas,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [5] M. Ali, H. M. Ali, W. Moazzam, and M. Babar Saeed, “Performance enhancement of PV cells through micro-channel cooling,” *AIMS Energy*, vol. 3, no. 4, pp. 699–710, 2015, doi: 10.3934/energy.2015.4.699.
- [6] X. Zhang *et al.*, “A review of urban energy systems at building cluster level incorporating renewable-energy-source (RES) envelope solutions,” *Appl. Energy*, vol. 230, no. June 2018, pp. 1034–1056, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.09.041.
- [7] K. Anderson, M. Shafahi, R. B. Lakeh, S. Monemi, and C. McNamara, “CFD study of compost waste heat for use in a hybrid solar tower,” *2015 IEEE Conf. Technol. Sustain. SusTech 2015*, pp. 73–76, 2015, doi: 10.1109/SusTech.2015.7314325.
- [8] S. P. Neill *et al.*, “Tidal range energy resource and optimization – Past perspectives and future challenges,” *Renew. Energy*, vol. 127, pp. 763–778, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.05.007.
- [9] H. A. Kazem, “Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 13, no. December 2018, p. 100401, 2019, doi: 10.1016/j.csite.2019.100401.
- [10] D. DUTRA SILVA, R. Candido Reis, R. Rodrigues de Souza, J. B. Campos Silva, and E. M. Cardoso, “Thermal Analysis of a Photovoltaic System With Solar Tracking Mirrors,” no. November, 2019, doi: 10.26678/abcm.encit2018.cit18-0786.
- [11] M. M. Sarafriz *et al.*, “Experimental investigation on thermal performance of a PV/T-PCM (photovoltaic/thermal) system cooling with a PCM and nanofluid,” *Energies*, vol. 12, no. 13, pp. 1–16, 2019, doi: 10.3390/en12132572.
- [12] SOLAREX, “MSX-60 and MSX-64 Photovoltaic Modules,” 2019.
- [13] N. Dhande, U. G. Bonde, and C. Gowder, “Solar Photovoltaic Model Design using MATLAB Simulink,” vol. 5, no. 10, pp. 453–458, 2017.
- [14] M. T. Baissi, K. Touafek, R. Khanniche, L. Boutina, and A. Khelifa, “Numerical analysis of baffles effect on thermal storage

- capacity inside hot water storage tank,” *Proc. 2018 6th Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2018*, no. C, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/IRSEC.2018.8702907.
- [15] T. Maatallah and W. Ben Youssef, “Simulation and performance analysis of concentrating photovoltaic/thermal collector (CPV/T) with three-sided thermal insulation based on coupled optothermal model,” *Sol. Energy*, vol. 181, no. October 2018, pp. 308–324, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.02.002.
- [16] M. Mittag *et al.*, “Thermal Modelling of Photovoltaic Modules in Operation and Production,” *PV Sol. Energy*, no. September, pp. 9–13, 2019.
- [17] G. Ömeroğlu, “CFD analysis and electrical efficiency improvement of a hybrid PV/T panel cooled by forced air circulation,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/9139683.
- [18] A. Augusto, S. Y. Herasimenka, R. R. King, S. G. Bowden, and C. Honsberg, “Analysis of the recombination mechanisms of a silicon solar cell with low bandgap-voltage offset,” *J. Appl. Phys.*, vol. 121, no. 20, pp. 2–8, 2017, doi: 10.1063/1.4984071.
- [19] M. Á. Á. Feijoo, M. E. A. Fariña, A. Suárez-García, D. González-Peña, and M. Díez-Mediavilla, “Compounds with epoxy resins and phase change materials for storage in solar applications,” *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 21, 2019, doi: 10.3390/ma12213522.
- [20] K. Kant, R. Pitchumani, A. Shukla, and A. Sharma, “Analysis and design of air ventilated building integrated photovoltaic (BIPV) system incorporating phase change materials,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 196, no. May, pp. 149–164, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.05.073.
- [21] M. H. Ahmadi *et al.*, “Solar power technology for electricity generation: A critical review,” *Energy Sci. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 340–361, 2018, doi: 10.1002/ese3.239.
- [22] F. da R. Santos, J. D. Mariano, J. A. Sestrem Junior, and J. Urbanetz Junior, “Analysis of solar photovoltaic energy potential in Brazilian hydroelectric reservoirs through floating panels,” *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, vol. 62, no. spe, 2019, doi: 10.1590/1678-4324-smart-2019190012.
- [23] C. J. Hages, N. J. Carter, and R. Agrawal, “Generalized quantum efficiency analysis for non-ideal solar cells,” *J. Appl. Phys.*, vol. 119, no. 1, 2016, doi: 10.1063/1.4939487.
- [24] K. Sun *et al.*, “Over 9% Efficient Kesterite Cu₂ZnSnS₄ Solar Cell Fabricated by Using Zn_{1-x}CdxS Buffer Layer,” *Adv. Energy Mater.*, vol. 6, no. 12, pp. 4–9, 2016, doi: 10.1002/aenm.201600046.
- [25] L. Boutina, M. Lebbi, K. Touafek, A. Khelifa, and A. Benchatti, “Numerical investigation of the natural air-cooling of photovoltaic modules in a new concept of hybrid system PVT mounted in stairs form (S-PVT),” *2018 5th Int. Conf. Electr. Electron. Eng. ICEEE 2018*, pp. 468–472, 2018, doi:

- 10.1109/ICEEE2.2018.8391383
- [26] T. Ming, G. Xu, Y. Pan, F. Meng, and C. Zhou, *Fluid flow and heat transfer of solar chimney power plant*. Elsevier Inc., 2016.
 - [27] Z. Y. Huang, Y. J. Liu, Y. Q. Chen, and Z. L. Peng, “Energy structure of MHD flow coupling with outer resistance circuit,” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 387, pp. 186–201, 2015, doi: 10.1016/j.jmmm.2015.04.001.
 - [28] S. Marrakchi, Z. Leemrani, H. Asselman, A. Aoukili, and A. Asselman, “Temperature distribution analysis of parabolic trough solar collector using CFD,” *Procedia Manuf.*, vol. 22, pp. 773–779, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.110.
 - [29] M. C. Browne, B. Norton, and S. J. McCormack, “Phase change materials for photovoltaic thermal management,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 762–782, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.050.
 - [30] J. G. Hernandez-Perez, J. G. Carrillo, A. Bassam, M. Flota-Banuelos, and L. D. Patino-Lopez, “A new passive PV heatsink design to reduce efficiency losses: A computational and experimental evaluation,” *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 1209–1220, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.09.088.
 - [31] D. L. Montaña, “Desarrollo de un sistema de optimización de forma para perfiles aerodinámicos mediante algoritmos genéticos,” Universidad del País Vasco, 2017.
 - [32] M. Di Capua H, R. Escobar, A. J. Diaz, and A. M. Guzmán, “Enhancement of the cooling capability of a high concentration photovoltaic system using microchannels with forward triangular ribs on sidewalls,” *Appl. Energy*, vol. 226, no. May, pp. 160–180, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.052.

6.1 Matriz de estado del arte.

Tabla 16 : Matriz de estado del arte.

MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO LAS ECUACIONES DE NAVIER STOKES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS																																
ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA							RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	#citas	Análisis térmico de paneles fotovoltaicos	Almacenamiento de energía solar	Despliegue óptimo de generación fotovoltaica	Análisis de funcionamiento fotovoltaico	Optimización	Análisis térmico	Minimización de costos	Minimización de pérdidas de energía	Minimización de efectos térmicos	Inclusión de sistemas de gestión de cargas	Minimización de emisiones	Tipo de enfriamiento	Tipo de panel fotovoltaico	Ángulo de inclinación de paneles fotovoltaicos	Temperatura del panel fotovoltaico	Ubicación geográfica	Ecuaciones de Navier Stokes	Algoritmo genético	Ecuaciones diferenciales	Cambio de fase de material	Diseño de celdas fotovoltaicas	Reducción de costo de energía fotovoltaica	Predicción de temperatura	Reducción de pérdidas por temperatura	Almacenamiento óptimo de energía	Reducción de emisiones de CO2	Ubicación optima de paneles fotovoltaicos	Enfriamiento óptimo	
1	2020	A new passive PV heatsink design to reduce efficiency losses: A computational and experimental evaluation	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	2019	Evaluation and analysis of water-based photovoltaic/thermal (PV/T) system	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2019	Experimental investigation on thermal performance of a PV/T-PCM (photovoltaic/thermal) system cooling with a PCM and nanofluid	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2019	Simulation and performance analysis of concentrating photovoltaic/thermal collector (CPV/T) with three-sided thermal insulation based on coupled optothermal model	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	2019	Thermal Modelling of Photovoltaic Modules in Operation and Production	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2019	Compounds with epoxy resins and phase change materials for storage in solar applications	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

7	2019	Analysis and design of air ventilated building integrated photovoltaic (BIPV) system incorporating phase change materials	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
8	2019	Analysis of solar photovoltaic energy potential in Brazilian hydroelectric reservoirs through floating panels	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	2019	Thermal Analysis of a Photovoltaic System with Solar Tracking Mirrors	20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	2019	Theoretical analysis and mathematical modeling of a solar cogeneration system in Morocco	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	2018	Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems	28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
12	2018	A review of urban energy systems at building cluster level incorporating renewable-energy-source (RES) envelope solutions	13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	2018	Tidal range energy resource and optimization – Past perspectives and future challenges	35	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	2018	Numerical analysis of baffles effect on thermal storage capacity inside hot water storage tank	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	2018	Numerical investigation of the natural air-cooling of photovoltaic modules in a new concept of hybrid system PVT mounted in stairs form (S-PVT)	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	2018	Temperature distribution analysis of parabolic trough solar collector using CFD	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	2018	Enhancement of the cooling capability of a high concentration photovoltaic system using microchannels with forward triangular ribs on sidewalls	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2018	CFD analysis and electrical efficiency improvement of a hybrid PV/T panel cooled by forced air circulation	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2018	Solar power technology for electricity generation: A critical review	30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	2017	Solar Photo-Voltaic Model Design using MATLAB Simulink	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	2017	Desarrollo de un sistema de optimización de forma para perfiles aerodinámicos mediante algoritmos genéticos	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	2017	Analysis of the recombination mechanisms of a silicon solar cell with low bandgap-voltage offset	20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

23	2016	Temperature regulation of PV solar cell under PCM cooling system	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
24	2016	Fluid flow and heat transfer of solar chimney power plant	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
25	2016	Generalized quantum efficiency analysis for non-ideal solar cells	62	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
26	2016	Over 9% Efficient Kesterite Cu2ZnSnS4 Solar Cell Fabricated by Using Zn1-xCdxC Buffer Layer	216	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
27	2015	Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró.	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	2015	Performance enhancement of PV cells through micro-channel cooling	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	2015	CFD study of compost waste heat for use in a hybrid solar tower	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	2015	Energy structure of MHD flow coupling with outer resistance circuit	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
31	2015	Phase change materials for photovoltaic thermal management	139	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	2014	Simulación del flujo alrededor de paneles fotovoltaicos. Determinación de cargas aerodinámicas	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CANTIDAD:				24	5	10	18	20	25	7	2	14	2	7	32	32	32	23	7	11	4	18	6	15	10	5	21	5	10	10	16	

6.2 Resumen de indicadores

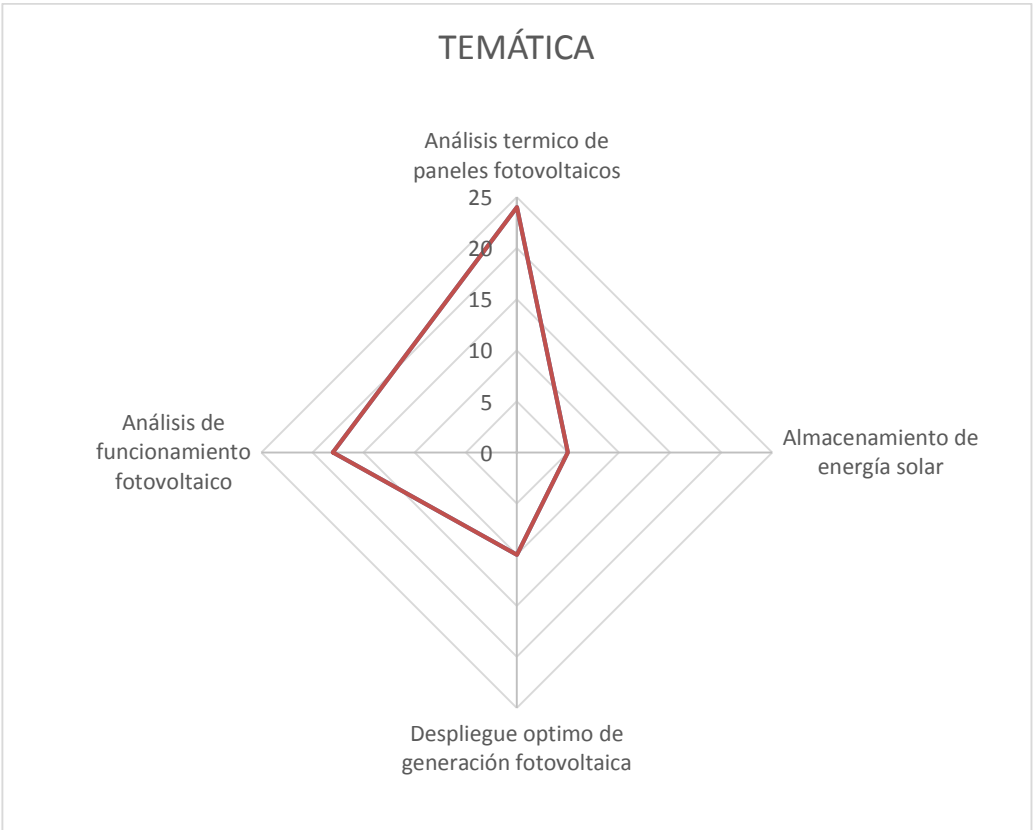


Figura 21. Temática de estado del arte.

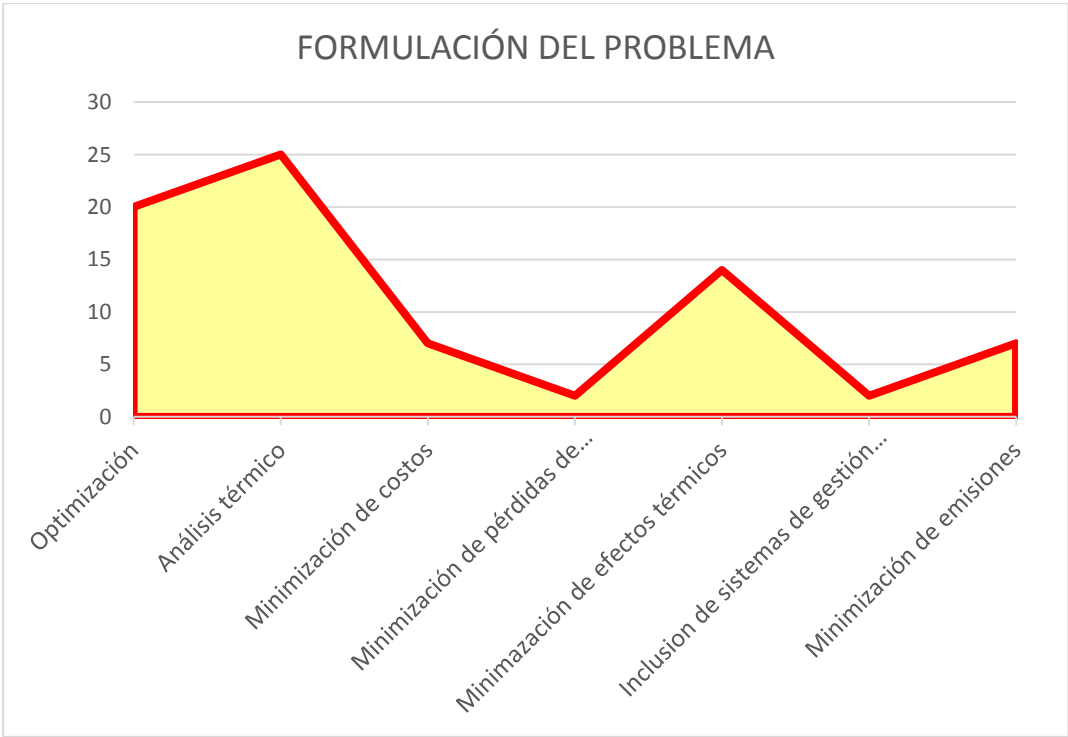


Figura 22. Formulación del problema de estado del arte.

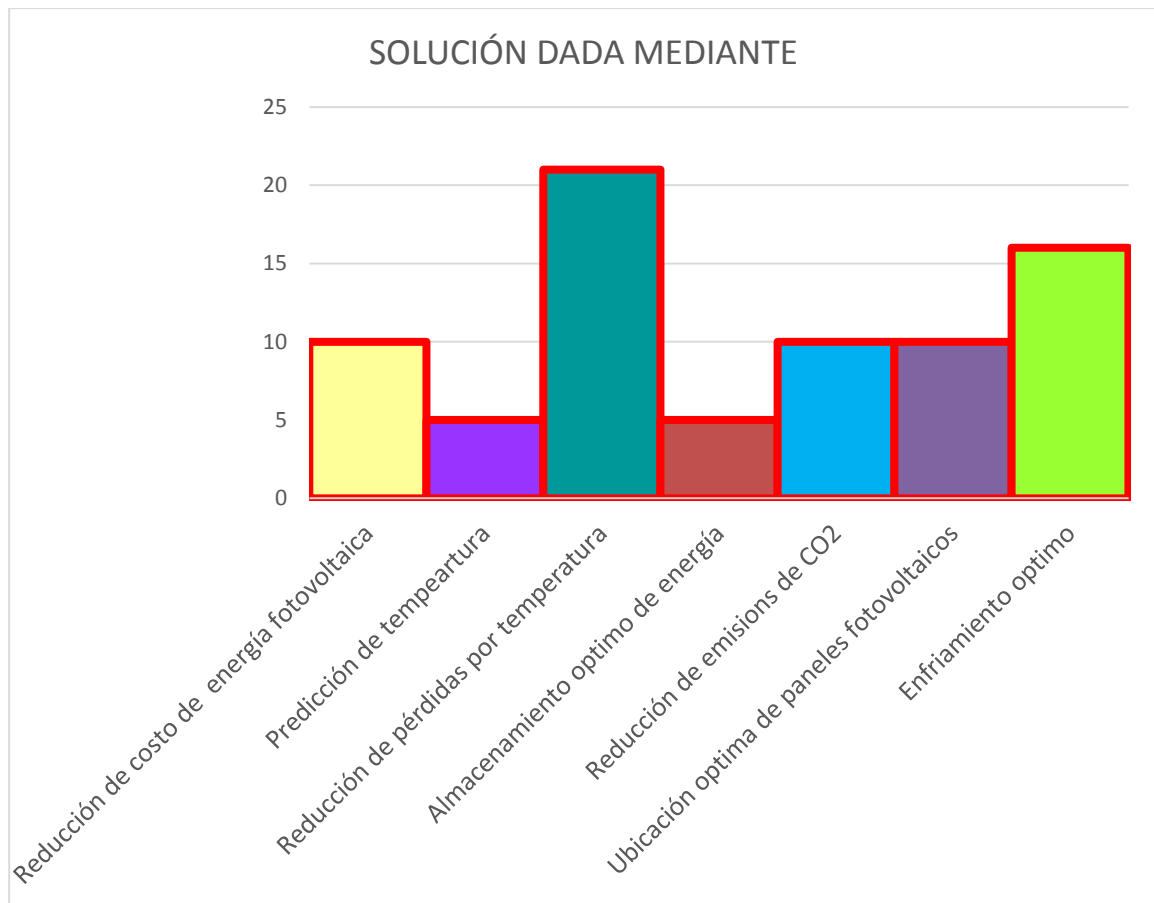


Figura 23. Solución propuesta de estado del arte.